



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Dalam era globalisasi landasan pembangunan nasional Indonesia dititikberatkan pada sektor industri. Perkembangan industri di Indonesia pada saat ini mengalami peningkatan kualitas maupun kuantitas terutama industri kimia, sehingga kebutuhan akan bahan baku, bahan penunjang, maupun tenaga kerja semakin meningkat pula. Oleh karena itu sangat diharapkan munculnya industri-industri baru, baik yang menghasilkan produk siap pakai maupun produk untuk bahan baku industri lain. Salah satu industri kimia yang mengalami peningkatan adalah industri plastik atau polimer.

Berbeda dengan polimer lainnya, polietilena memiliki jenis/*grade* yang banyak dan aplikasi pemakaian yang luas. Selain dapat diaplikasikan secara murni, polietilena dapat pula diaplikasikan dengan mencampurnya dengan bahan/polimer lain untuk aplikasi tertentu. Kebutuhan polietilena di Indonesia sangat tinggi dan tumbuh dengan cepat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi.

Perkembangan kebutuhan polietilena dari tahun 1997 sampai dengan tahun 2002 dapat dilihat dalam Tabel 1.1 berikut :

Tabel 1.1 Kebutuhan Polietilena di Indonesia

Tahun	Kebutuhan Polietilena (ton)
1997	25.865.490,63
1998	26.957.001,10
1999	29.955.898,57
2000	29.338.478,50
2001	27.166.482,50
2002	29.988.974,64

(Biro Pusat Statistik )



Dari tabel 1.1 di atas dapat terlihat besarnya pertumbuhan kebutuhan polietilena di Indonesia. Dari tahun 1997 sampai tahun 2002 kebutuhan akan polietilena di Indonesia meningkat rata-rata sebesar 16,7 % per tahun. Kebutuhan polietilena di Indonesia sampai saat ini hanya disuplai dari PT. PENI dan PT. Chandra Asri, sedangkan kekurangannya dipenuhi dari impor, baik dari Arab Saudi, Amerika, Jepang, Korea maupun dari negara-negara lain yang mempunyai kelebihan produksi, yang jelas dengan adanya arus dari luar negeri menyebabkan semakin bertambahnya defisit transaksi berjalan.

Dengan memperhatikan kebutuhan polietilena yang semakin meningkat dan yang tak dapat terpenuhi oleh pabrik polietilena yang ada di Indonesia, maka didirikannya pabrik polietilena yang baru adalah salah satu penyelesaian untuk memenuhi kebutuhan polietilena di Indonesia. Selain dapat menyelamatkan devisa negara, industri polietilena juga merupakan lahan bisnis yang baik dan menguntungkan.

Adanya pabrik polietilena di Indonesia terutama diharapkan akan membuka lapangan pekerjaan baru sehingga program pemerintah dalam pengurangan pengangguran dan peningkatan kecerdasan bangsa dapat terwujud dengan adanya alih teknologi. Di samping itu impor kebutuhan polietilena dalam negeri dapat ditekan sehingga devisa negara dapat ditingkatkan, bahkan lebih jauh lagi dimungkinkan untuk orientasi ekspor.

## **1.2. Kapasitas Rancangan**

Dalam penentuan kapasitas pabrik polietilena ini ada beberapa pertimbangan, yaitu :

1. Perkiraan kebutuhan polietilena
2. Ketersediaan bahan baku
3. Kapasitas minimal (Skala komersial)

### **1.2.1. Perkiraan Kebutuhan Polietilena di Indonesia**

Kebutuhan polietilena di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun. Diperoleh data bahwa kebutuhan polietilena rata-rata mengalami kenaikan 2,74 % setiap tahunnya, sehingga diperkirakan kebutuhan



polietilena yang belum terpenuhi oleh produksi dalam negeri pada tahun 2010 nanti akan mencapai 150.000 ton/th. Berikut data-data kebutuhan polietilena setiap tahun yang masih diimpor oleh Indonesia dari negara lain.

Tabel 1.2. Kebutuhan Poliethilena di Indonesia Berdasarkan Data

Impor

Tahun	Jumlah (ton)
1999	52.080,230
2000	61.606,361
2001	68.936,417
2002	83.892,995
2003	77.485,500
2004	84.251,296

(Data Impor BPS Indonesia, 1999-2004)

### 1.2.2. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan polietilena yang berupa etilen dapat diperoleh dari dalam negeri sendiri, yaitu dipenuhi dari PT. Chandra Asri yang berlokasi di Cilegon Banten, dengan kapasitas produksi etilen sebesar 550.000 ton per tahun. Dengan kapasitas yang besar ini diharapkan tahun 2010 nanti PT. Chandra Asri masih surplus etilen guna mensuplai kebutuhan bahan baku pabrik polietilena sebagai konsumen terbesar sebesar dikurangi untuk konsumsi industri-industri lain, seperti : etilen oksida, etilen glikol, aluminium alkil, vinil asetat, etil klorida serta industri lainnya yang masing-masing mengkonsumsi etilen dengan jumlah yang relatif kecil.



Tabel 1.3. Pola Konsumsi Etilen Sebagai Bahan Baku Produk Industri

Jenis Produk	Konsumsi Etilen (%)
Polietilena	44
Etilen Oksida	16
Vinil Klorida	13
Etil Benzen	8
Lain-lain	19

(Hydrocarbon Processing, 1979)

### 1.2.3. Skala Komersial

Di Indonesia pabrik polietilena yang sudah beroperasi adalah PT. Petrokimia Nusantara Internusa (PT. PENI) yang berlokasi di Merak dengan kapasitas 200.000 ton per tahun dan PT. Chandra Asri dengan kapasitas 300.000 ton per tahun. Dengan kapasitas yang ada PT. PENI dan PT. Chandra Asri belum mampu mencukupi kebutuhan dalam negeri yang setiap tahunnya meningkat. Berdasarkan data yang ada kapasitas rancangan minimal yang secara komersial memberikan keuntungan adalah 35.000 ton/tahun.

(Vincent Cavaseno & Staff, 1999).

Berdasarkan ketiga pertimbangan di atas untuk perancangan awal pabrik polietilene ini ditetapkan kapasitas sebesar 110.000 ton/th. Dengan kapasitas ini diharapkan :

- Dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri yang mengalami peningkatan sebesar 2,74 % per tahun.
- Dapat membuat peluang bagi berdirinya industri lain yang menggunakan polietilena sebagai bahan baku.
- Dapat memberikan keuntungan karena kapasitas rancangan minimal yang secara komersial memberikan keuntungan adalah 35.000 ton / th.

### 1.3. Lokasi

Letak geografis suatu pabrik mempunyai pengaruh sangat besar terhadap kelangsungan pabrik tersebut. Untuk itu, sebelum mendirikan



pabrik perlu mempertimbangkan faktor-faktor pendukung yang ada. Adapun lokasi pendirian pabrik polietilena ini direncanakan di lokasi daerah industri Cilegon, Banten dengan pertimbangan sebagai berikut:

#### 1. Penyediaan bahan baku

Lokasi pabrik di daerah Cilegon, Banten ini sangat tepat mengingat sebagai bahan baku etilen dipenuhi dari PT. Chandra Asri di Cilegon. Dengan lokasi pabrik yang dekat bahan baku ini akan mengurangi biaya transportasi dan akan mengurangi dana yang akan diinvestasikan untuk pembangunan fasilitas-fasilitas penyimpanan.

#### 2. Pemasaran produk

Produksi polietilena diperlukan untuk bahan baku industri khususnya industri plastik. Daerah Cilegon, Serang, Merak dan Jabotabek sebagai daerah industri merupakan lahan potensial bagi pemasaran produk. Dengan dekatnya daerah pemasaran yang potensial ini, biaya distribusi produksi dan biaya investasi dalam pembangunan storage dapat ditekan.

#### 3. Fasilitas transportasi

Dekatnya lokasi pabrik dengan pelabuhan serta dukungan transportasi darat yang memadai, diharapkan pemasokan bahan baku dan pemasaran hasil produksi baik, baik untuk dalam maupun luar negeri tidak mengalami kesulitan.

#### 4. Tenaga kerja

Meskipun pabrik-pabrik kimia cenderung melakukan *autumatisasi*, namun guna penambahan tenaga staf dan tenaga *engineering*, masih banyak pabrik yang memerlukan tenaga kerja dalam jumlah cukup banyak; khususnya pabrik-pabrik yang menggunakan sistem *shift* dalam pengoperasiannya, sehingga akan dibutuhkan tenaga kerja yang cukup besar di sekitar pabrik.

#### 5. Tersedianya fasilitas air

Penggunaan air dalam pabrik tidak hanya untuk proses saja, namun digunakan juga dalam *cooling*, *washing* dan *steam operation*. Karena



penggunaan air dalam jumlah tak terbatas tidak diijinkan, maka sebagai alternatif sumur atau mata air dipakai sebagai suplai. Namun karena jumlah air dari sumur atau mata air sangat terbatas, maka pabrik menggunakan air laut dengan terlebih dahulu dilakukan pengolahan dalam unit utilitas.

#### 6. Fasilitas tenaga (*source of power*)

Dalam proses-proses kimia, bahan bakar dan listrik dipakai dalam jumlah besar, maka guna menekan biaya operasi, lokasi pabrik haruslah dekat dengan sumber bahan bakar dan listrik atau dengan kata lain energi untuk bahan bakar dan listrik haruslah selalu tersedia khusus untuk pemakaian listrik. Listrik dapat disuplai dari PLN atau pembangkit listrik menggunakan *generator*.

#### 7. Faktor-faktor Lain

Faktor-faktor lain seperti lingkungan, faktor sosial, serta perluasan pabrik telah dipersiapkan dengan baik oleh industri maupun pemerintah daerah setempat.

### 1.4. Jenis-jenis Proses

Produk polietilena sendiri yang juga sering disebut polietilena berdasarkan densitas dan berat molekul penyusunnya dikelompokkan menjadi tiga macam :

#### 1. Low Density Polyethylene (LDPE)

Density : 0,912- 0,925 gr/cm<sup>3</sup>

BM : 10.000-15.000 gr/mol

#### 2. Medium Density Polyethylene (MDPE)

Density : 0,925-0,94 gr/cm<sup>3</sup>

BM : 15.000-35.000 gr/mol

#### 3. High Density Polyethylene (HDPE)

Density : 0,94-0,965 gr/cm<sup>3</sup>

BM : 10.000-100.000 gr/mol



Secara umum proses-proses yang menghasilkan polietilena jenis *high density* bekerja pada kondisi tekanan dan suhu lebih tinggi dibandingkan dengan proses-proses yang menghasilkan polietilena jenis *low density*. Ditinjau dari beberapa hal seperti : fase reaksi, penggunaan katalis, jenis reaktor serta kondisi operasi ada bermacam-macam proses yang sudah dikembangkan oleh industri antara lain :

#### 1. Proses *Solution* (Fase Cair)

Proses ini telah banyak dikembangkan oleh banyak industri, termasuk di antaranya : *Du Pont, Dow, DSM- Stanicarbon, Sumitomo* dan *Mitsui Petrochem*. Proses ini memproduksi polietilena jenis LDPE dan HDPE. Keuntungan proses ini adalah bisa digunakan untuk berbagai macam *komonomer*. Bahan baku etilena dilarutkan dalam *diluent*, misalnya *sikloheksana* dipompa ke reaktor pada 10 Mpa. Reaksinya adiabatik dan suhu reaksi pada 200-300 °C. *Feed* mengandung 25 % berat dan 95 % dikonversikan menjadi polietilena. Larutan polietilena keluar dari reaktor ditreatment dengan *deactivating agent* dan dilewatkan bed alumina di mana katalis yang terikut *diabsorbsi*.

#### 2. Proses Fase Gas

Proses *fluidized bed* untuk produksi polietilena dikembangkan pada akhir tahun 1960 oleh *Union Carbida* dan BP Chemical. Proses ini bersaing dengan proses *solution* dan tekanan tinggi, di mana biaya operasi proses ini lebih rendah. Unit-unit *fluidized bed* dibangun sebagai *dual purpose plant (swing plant)*. Dengan kemampuan produksi LDPE dan HDPE. Range density yang dapat diproduksi dari 890-970 kg/m<sup>3</sup>. Reaktor yang digunakan berbentuk silindris pada fase reaksi kimia kecepatan gas masuk dapat berkurang sehingga partikel dapat turun kembali ke bed. Katalis Ziegler-Natta, yaitu senyawa organik logam transisi seperti TiCl<sub>4</sub> dan organil logam alkali (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>Al. Gas etilene diumpankan ke dalam reaktor *fluidized bed*. Secara terpisah katalis dimasukkan ke dalam reaktor.



Polimerisasi terjadi pada tekanan 21 atm dan suhu 80-110 °C tergantung *density* produk yang dibuat. Granular polietilene hasil reaksi ditampung dalam suatu discharge system. Sedangkan etilena yang tidak bereaksi didaur ulang. Polietilena dicuci dengan gas nitrogen atau gas inert lain. Beberapa perusahaan yang mengembangkan proses ini : Union carbide, Amoco, Cities, Naphta Chime, BASF dan Imhjausen Chemi.

### 3. Proses *Slurry* (*Suspension*)

Pembentukan polietilena tersuspensi dalam *diluen hidrokarbon* untuk pertama kali dipatenkan oleh *Ziegler*. Pada tekanan tertentu katalis *ziegler* dapat menghasilkan *yield* yang tinggi, dengan kondisi temperatur di mana polietilena tidak larut dalam diluent tersebut sedangkan proses *union carbide* ditemukan dalam laboratorium sebagai proses *solution* yang menggunakan katalis *Ziegler* dan katalis  $TiCl_4$ . Tetapi karena lisensinya hanya untuk penggunaan katalis, maka terdapat banyak perbedaan design proses. Pada dasarnya, proses *slurry* dibagi menjadi dua proses :

#### *Proses autoclave*

Tekanan yang digunakan 0,5-1,0 Mpa dengan menggunakan reaktor besar ( $\pm 100 m^3$ ) suhu reaksi 80-90 °C. Diluent yang digunakan adalah hidrokarbon dengan titik didih rendah misalnya heksana. Katalis dicampur dengan *diluen* sebagai campuran *slurry* dalam tangki pencampur katalis sebelum diumpankan dalam reaktor. Untuk mempercepat reaksi dilakukan untuk memisahkan diluen yang akan *direcycle* ke reaktor. Polimer dikeringkan dalam *fluidized bed dryer* yang secara kontinyu dialirkan nitrogen.

### 4. Proses ICI

Dapat digunakan dua macam reaktor, yaitu *autoclave* tekanan tinggi atau *jacketed tube*. Proses ini merupakan polimerisasi tekanan tinggi dengan memanfaatkan oksigen sebagai katalis. Proses ini termasuk polimerisasi radikal bebas. Etilena dengan kemurnian 99,95 % diumpankan ke dalam reaktor *autoclave*. Dalam reaktor ini terjadi





polimerisasi pada suhu 70 °C dan tekanan 15 atm. Reaksi ini diawali dengan penambahan oksigen. Produk dari *autoclave* yang berupa campuran polimer dan monomer diumpankan pada sebuah separator, di mana pada tekanan rendah polietilena akan mengembun dan etilena yang tidak bereaksi tetap berupa gas. Etilena sisa didaur ulang ke kompresor utama untuk dicampur kembali, sebelum diumpan balik ke reaktor *autoclave*. Setelah proses polimerisasi selesai selanjutnya proses hilir akan menyelesaikan produk polietilena mengenai handling dan finishingnya. Teknologi proses ini antara lain dikembangkan oleh perusahaan Arco Chemical, CDF Chemi dan Gulf Oil.

Proses yang dipilih dalam pra rancangan ini adalah proses *Union Carbide* dengan menggunakan reaktor *fluidized bed* dalam fase gas. Hal ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

- Operasi bekerja pada suhu 70°C dan tekanan 15 atm. .Kondisi ini lebih mudah untuk dikontrol.
- Konversi yang bisa dihasilkan relatif tinggi, yaitu di atas 97 % secara overall.
- Produk HDPE mempunyai prosentase terbesar dalam berbagai macam aplikasi dan penggunaan.
- Isobutan yang digunakan dapat *directcycle* sehingga lebih menghemat biaya.
- Pada proses ini tidak ada produk samping lain selama polimerisasi, sehingga tidak terjadi banyak limbah.

### 1.5. Kegunaan Produk

Hasil polimerisasi etilena, merupakan senyawa berupa padatan putih, thermosetting, tahan panas, tahan terhadap pengaruh bahan kimia, daya regangan tinggi, sifat elektrisnya baik, tidak menguap serta tidak beracun. Karena sifat sifatnya yang menguntungkan ini polietilena mempunyai kegunaan cukup luas.



Kegunaan polietilena antara lain untuk :

- Isolasi atau bahan pelapis pada kawat/kabel.
- Bahan pembuatan botol.
- Membuat barang plastik atau kantung plastik.
- Membuat *shopping bag*.
- Bahan baku pembuatan *container*.
- Bahan semikonduktor.
- Bahan pembuatan pipa.
- Bahan pembuatan film (kantong kresek).
- Lain-lain

## 1.6. Sifat Fisik dan Kimia dari Bahan Baku dan Produk

### 1. Bahan Baku

#### A. Etilena

Sifat Fisik :

Rumus kimia	: $C_2H_4$
Rumus molekul	: $CH_2 = CH_2$
Berat molekul	: 28,052 gr/gmol
Fase	: gas
Warna	: tak berwarna
• $H_f^0_{298K}$ entalpi pembentukan	: 12,496 kkal/gmol
Log $K_f^0_{298K}$ konstanta pembentukan	: -11,9345 kkal/gmol
Entropy ( $S^0$ ) <sub>298K</sub>	: 52.54 kkal/gmol
Titik didih	: -103,8°C
Titik lebur	: -169,2°C
Faktor kompresibilitas	: 0,281
Kapasitas panas ( $C_p$ )	: $0,909 + (3,740 \cdot 10^{-2}) T + (-1,994 \cdot 10^{-5}) T^2 + (4,192 \cdot 10^{-9}) T^3$ kkal/gmol. K

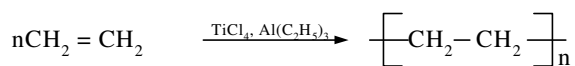


- Sifat Kimia :

1. Polimerisasi

Polimerisasi merupakan reaksi kimia di mana dua molekul atau lebih bergabung membentuk molekul yang lebih besar. Jika suatu campuran etilen dengan oksigen dipanaskan pada tekanan tertentu maka akan dihasilkan senyawa dengan berat molekul yang lebih besar disebut polietilena.

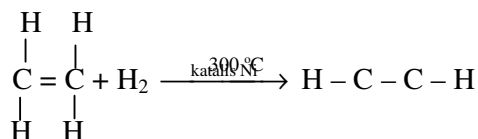
Reaksi yang terjadi :



2. Hidrogenasi

Etilena dapat diubah menjadi etana melalui proses hidrogenasi langsung dengan katalis Nikel pada suhu 300°C.

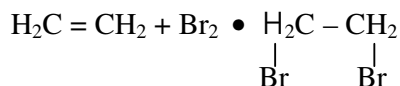
Reaksi yang terjadi :



3. Adisi

Penambahan Brom ( $\text{Br}_2$ ) pada senyawa berikatan rangkap menghasilkan dibromida dengan senyawa baru menjadi jenuh. Reaksi ini juga dipakai untuk mengidentifikasi adanya suatu ikatan rangkap yang ditandai dengan hilangnya warna coklat dari larutan Brom.

Reaksi yang terjadi :



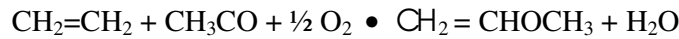
4. Oksidasi

Oksidasi etilena secara langsung dapat menghasilkan *vinil asetat*. Pada saat ini untuk memproduksi *vinil asetat* lebih banyak



digunakan etilena sebagai bahan bakunya dibandingkan dengan asetilena.

Reaksi yang terjadi :



## B. Hidrogen

Sifat Fisik :

Rumus kimia	: $\text{H}_2$
Berat molekul	: 2,016 gr/gmol
Fase pada temperatur kamar	: gas
Titik didih	: $-252,8^\circ\text{C}$
Titik lebur	: $-259,2^\circ\text{C}$
Kapasitas panas	: $6,483 + (2,215 \cdot 10^{-3})T + (-3,298 \cdot 10^{-6})T^2 + (1,826 \cdot 10^{-9})T^3$ kkal/gmol.K

- Sifat Kimia

Hidrogen merupakan unsur yang paling ringan. Molekul hidrogen meliputi dua bentuk, yaitu ortho-H dan para-H dari orientasi spin atom tetapi sifat keduanya sama. Dalam industri hidrogen digunakan sebagai pereduksi logam oksida seperti pada besi untuk pengelasan, serta operasi pengerjaan logam lainnya. Beberapa proses industri yang dalam proses sintesanya menggunakan hidrogen adalah proses amonia, asam hipoklorit, metanol dan aldehyd. Selain itu juga untuk menghidrogenasi bermacam-macam produk petroleum, edible oil dan batu bara.

## C. Metil Akrilat

Sifat fisis :

Bentuk	: Cair
Warna	: Tak berwarna
Densitas	: 0,956 g/ml
Kemurnian	: Minimal 99,6% volume
Impuritas	: Maksimal 0,4 % methanol



## 2. Bahan Pembantu (Katalis Titanium Triklorat)

### Sifat Fisik

Rumus molekul	: $\text{TiCl}_4$
Berat molekul	: 189,73 gr/gmol
Fase	: padat
<i>Bulk Density</i>	: 927 kg/m <sup>3</sup>
Porositas	: 0,88 m <sup>2</sup> /g

## 3. Produk (Polietilena)

### Sifat Fisik :

Rumus molekul	: $(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -)_n$
Berat molekul	: 10.000 – 100.000 gr/gmol
FaseWarna	: padat
Berat jenis	: putih
Kristalinitas	: 0,94 – 0,965 gr/cc
Titik lebur kristal	: 55 – 85 %
Koefisien friksi	: 0,06 – 0,3
Konduktivitas thermal	: 2,3 – 3,4 Btu/j.ft <sup>2</sup> .°F

- Sifat Kimia :

1. Tidak larut dalam pelarut apa pun pada suhu kamar tetapi mengendap oleh hidrokarbon dan karbon tetraklorida,
2. Tahan terhadap asam dan basa,
3. Dapat dirusak oleh asam sulfat pekat.
4. Tidak tahan terhadap cahaya dan oksigen.
5. Bila dipanasi secara kuat akan membentuk sambung silang yang diikuti dengan pembelahan ikatan secara acak pada suhu lebih tinggi, tetapi dipolimerisasi tidak terjadi.
6. Larutan dari suspensi polietilena dengari karbon tetraklorida pada suhu sekitar 60°C dapat direaksikan dengan Cl membentuk produk



lunak dan kenyal. Pemasukan atom Cl secara acak ke dalam rantai dapat menghancurkan kekristalan polietilena.

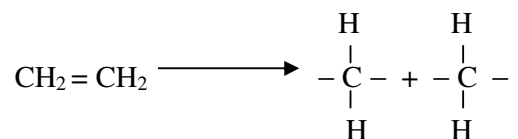
7. Polietilena thermoplastic dapat diubah menjadi elastomer ter Vulkanisir yang mengandung sekitar 30% Cl dan 1,5% belerang melalui pengklorosulfonan. Vulkanisir pada umumnya dilakukan melalui pemanasan dengan oksida logam tertentu. Hasil akhir yang berupa hipalon, tahan terhadap bahan kimia dan cuaca.

### 1.7 Tinjauan Proses Secara Umum

Pembuatan polietilena merupakan proses penggabungan gugus molekul penyusunan yang disebut molekul raksasa yang disebut polimer. Proses ini lebih dikenal dengan polimerisasi atau proses pembentukan polimer. Pada saat terjadinya polimerisasi, lengan ikatan rangkap atau atom karbon lepas kemudian bergabung dengan karbon lainnya yang juga mengalami hal yang sama. Begitu seterusnya sehingga membentuk rangkaian panjang secara molekuler.

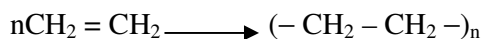
Pemutusan ikatan rangkap atau kovalen itu, biasa disebabkan karena adanya panas, tekanan atau karena sebab-sebab kimia lainnya.

Reaksi :



Molekul-molekul etilena berwujud gas yang ringan dan selama terjadinya polimerisasi, molekul-molekul etilena dalam jumlah ribuan lebih tersebut, akan bergabung dengan molekul-molekul etilena lainnya membentuk polietilena yang lebih solid.

Reaksi ;



Reaksi polimerisasi dapat diklasifikasikan menjadi *step growth* dan *chain growth*. Pada polimerisasi *step growth* reaksi yang menghubungkan monomer, oligomer dan polimer mempunyai mekanisme yang sama.



Pertumbuhan rantai polimer secara perlahan dari monomer menjadi dimer dan seterusnya terbentuk molekul polimer dengan ukuran besar. Rantai polimer terus tumbuh dari kedua sisi selama polimerisasi, sehingga biasanya waktu polimerisasi lama (dalam orde jam).

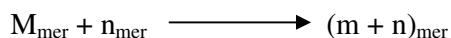
Sedangkan *polimerisasi chain growth*, molekul tumbuh cepat sekali. Pada polimerisasi ini terjadi pembentukan active center yang dapat berupa radikal bebas, kation atau anion. Begitu *active center* terbentuk, rantai polimer akan terbentuk cepat sekali dan pada waktu rantai dideaktivasi oleh rantai terminasi, rantai polimer menjadi mati dan tidak dapat bertambah lagi.

#### A. Polimerisasi Step Growth

##### 1. Polimerisasi Linear

Pada polimerisasi ini hanya ada satu jenis reaksi kimia yang menghubungkan semua molekul. Contohnya adalah jenis esterifikasi, amidasi, pembentukan urethan dan substitusi aromatik.

Reaksi pertumbuhan pada polimerisasi ini secara umum adalah :



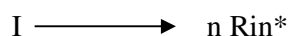
##### 2. Polimerisasi Interfacial

Metode ini digunakan untuk menghasilkan polimer dengan massa molekul yang sangat besar pada *interface* dua larutan *immisible*. Contohnya adalah polimerisasi, terbentuk pada suhu kamar dari larutan diamin dan diacid klorida dalam larutan organik. Polimer yang terbentuk dapat berupa film. Pada waktu molekul polimer mulai terbentuk dan monomer mulai bereaksi lagi, monomer ini akan langsung bereaksi dengan rantai yang sudah ada, sebelum sempat terbentuk rantai polimer yang baru. Jadi akan didapat polimer dengan berat molekul yang sangat besar sekali. Reaksi ini tidak banyak digunakan karena monomer yang digunakan mahal dan *solven* dalam jumlah besar harus dipisahkan dan *direcovery*.

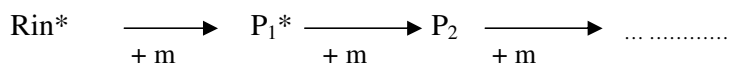


## B. Polimerisasi *Chain Growth*

Polimer ini harus dinilai dengan adanya active center ( $Rn^*$ ) yang kebanyakan berupa radikal bebas. *Active center* adalah partikel yang mengandung elektron tak berpasangan. Active center biasanya terbentuk dari penguraian zat yang relative tidak mantap. Ikatan rangkap dua sangat mudah diuraikan oleh adanya panas, tekanan atau pengaruh kimia guna membentuk active center. Active center ini memicu reaksi polimerisasi sehingga terjadi begitu cepat dalam waktu beberapa detik saja. Sehingga bila ada katalis I, katalis digunakan untuk menghasilkan active center.

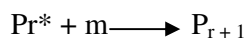


Active center  $Rn^*$  dengan monomer akan membentuk active center baru dan bergabung dengan monomer. Reaksi ini disebut reaksi propagasi.



m adalah monomer dan  $Pr^*$  adalah polimer aktif dengan panjang rantai r.

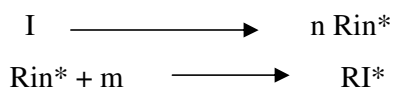
Secara umum reaksi propagasi adalah :



Pada polimerisasi ini, hanya molekul dengan *active center* yang bisa mengalami reaksi propagasi, maka molekul yang sudah terbentuk dapat dianggap sebagai polimer yang sudah mati, yang tidak akan menjadi rantai lagi. Ada tiga dasar reaksi radikal bebas sebagai active center yaitu :

### 1. Tahap *Inisiasi* (reaksi pembentukan radikal bebas)

Pada tahap ini terjadi dua pembentukan radikal bebas, yaitu radikal bebas dari reaksi aktivasi katalis dan dari reaksi terhadap molekul etilena monomer yang membentuk radikal baru. Reaksi ini terus berlangsung menghasilkan radikal bebas selama polimerisasi.



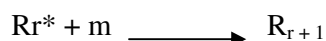
Radikal bebas  $Rn^*$  dari inisiator disebut radikal primer atau radikal inisiator.





## 2. Tahap *Propagasi* (reaksi pertumbuhan rantai polimer)

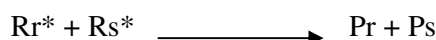
Radikal bebas yang terbentuk pada inisiasi sangatlah reaktif dan dapat dengan cepat bereaksi dengan monomer membentuk rangkaian yang berelanjutan, *free radical chain reaction*. Dalam setiap tahap reaksi yang terjadi pada radikal bebas disertai dengan pembentukan radikal bebas baru sehingga terjadi reaksi yang berantai.



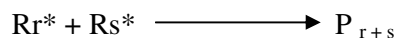
## 3. Reaksi *Terminasi*

Reaksi yang berkelanjutan dihentikan oleh reaksi-reaksi yang tidak membentuk radikal bebas. Reaksi-reaksi itu adalah reaksi kombinasi dan reaksi disproporsionasi terhadap dua radikal bebas.

Reaksi disproporsionasi :



Reaksi kombinasi :



(Billmeyer, 1984)

Pr adalah molekul polimer dengan rantai panjang rantai r dan tidak mempunyai pusat radikal.

## C. Kopolimer

Kopolimerisasi menghasilkan sintesa tipe polimer yang hampir tidak terbatas jumlahnya dan ini sangat menguntungkan dari segi komersial. Kopolimer diperoleh dengan mereaksikan monomer dengan komonomer, sehingga akan didapatkan polimer yang sifat-sifatnya bisa sangat berbeda dari polimer semula (tanpa komonomer). Kegunaan dari kopolimer yang dihasilkan banyak dan bervariasi sekali tergantung dari komonomer yang direaksikan. Misalnya HDPE digunakan sebagai bahan dasar plastik, tidak larut dalam solven apapun, tetapi, dengan penambahan komonomer butene-1, didapatkan polietilena yang dapat larut dalam pelarut organik, yang digunakan untuk pencampur cat supaya mempunyai ketahanan lebih



terhadap bahan kimia dan cuaca, juga sebagai pencampur tinta-tinta cetak yang larut dalam air. Contoh yang lain adalah penambahan *stirena* atau *etil benzena*, maka akan diperoleh polietilena yang selain larut dalam pelarut organik, juga sangat mudah larut dalam pelarut organik siklis, karena mempunyai kesamaan gugus siklisnya. Contoh yang lain misalnya digunakan untuk bahan film, bahan pembuat pipa, pelapis kaca, bahan pencampur cat yang larut dalam air, bahan laminating dan lain-lain.